



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA PENGARUH  
SINAR MATAHARI TERHADAP LAJU KEAUSAN  
(WEAR RATE) MATERIAL *ETHYLENE PROPYLENE  
DIENE MONOMERS (EPDM)* PADA WIPER BLADE**

MUZAYIN AHMAD FU'ADI  
0211144000087

Dosen Pembimbing :  
Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA PENGARUH  
SINAR MATAHARI TERHADAP LAJU KEAUSAN  
(WEAR RATE) MATERIAL *ETHYLENE PROPYLENE  
DIENE MONOMERS (EPDM)* PADA WIPER BLADE**

MUZAYIN AHMAD FU'ADI  
02111440000087

Dosen Pembimbing :  
Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TM 184835**

**EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF  
SUNLIGHT EFFECT ON WEAR RATE OF  
ETHYLENE PROPYLENE DIENE MONOMERS  
(EPDM) MATERIAL IN WIPER BLADE**

**MUZAYIN AHMAD FU'ADI**  
**02111440000087**

**Advisor Lecturer :**  
**Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**Faculty Of Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2019**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA PENGARUH  
SINAR MATAHARI TERHADAP LAJU KEAUSAN  
MATERIAL ETHYLENE PROPYLENE DIENE  
MONOMER (EPDM) PADA WIPER BLADE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muzayin Ahmad Fuadi**

NRP. 02111440000087

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E ( Pembimbing )  
NIP. 196511031990021001
2. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA ( Penguji I )  
NIP. 196508101991021001
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT ( Penguji II )  
NIP. 196807061999031004
4. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD ( Penguji III )  
NIP. 197909262005011001



**SURABAYA  
JANUARI, 2019**

## **STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA PENGARUH SINAR MATAHARI TERHADAP LAJU KEAUSAN MATERIAL ETHYLENE PROPYLENE DIENE MONOMERS (EPDM) PADA WIPER BLADE**

Nama mahasiswa : Muzayin Ahmad Fuadi  
NRP : 02111440000087  
Departemen : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

### **ABSTRAK**

*Wiper merupakan komponen yang sangat penting dan erat hubungannya dengan keselamatan pengendara terutama pada saat turun hujan karena wiper blade akan menyapu air hujan yang jatuh ke kaca mobil. Pada saat wiper blade bekerja akan terjadi gesekan pada material wiper blade dengan kaca yang dapat mengakibatkan adanya keausan pada material wiper yang biasanya terbuat dari rubber dengan jenis Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM).*

*Penelitian untuk mengetahui pengaruh sinar matahari terhadap laju keausan (wear rate) dan life time dari material wiper blade dilakukan menggunakan tribometer pin on disk dengan variasi material pada pin berupa material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) dan Nitrile Rubber (NBR) dimana pada masing-masing material disinari matahari dengan lama waktu yang berbeda. Kecepatan putar yang digunakan adalah 31,3 rpm dengan pembebanan 14,71 N dan panjang lintasan 1000 m.*

*Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai specific wear rate akan semakin besar seiring semakin lama material terkena matahari. Life time terbaik untuk material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) adalah sekitar 3,7 tahun dan life time terbaik untuk material Nitrile Rubber (NBR) adalah sekitar 5,5 tahun sehingga dapat dijadikan sebagai material pengganti.*

**Kata kunci :** *wiper, wiper blade, EPDM, NBR, wear rate, life time*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF SUNLIGHT  
EFFECT ON WEAR RATE OF ETHYLENE PROPYLENE  
DIENE MONOMERS (EPDM) MATERIAL IN WIPER  
BLADE**

**Student name** : Muzayin Ahmad Fuadi  
**NRP** : 02111440000087  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Advisor lecturer** : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

**ABSTRACT**

*The wiper is a very important component and is closely related to the safety of the driver, especially when it rains because the wiper blade will sweep away the rain water that fall into the windshield. When the wiper blade which is usually made of Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) works, there will be a friction on the glass which causes wear on the wiper material.*

*This study aims to determine the effect of sunlight on the wear rate and life time of the wiper blade material and to seek the alternative material that can be used as a substitute for Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) material. The test is carried out using tribometer pin on disk type with material variations on the pin in the form of Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) material and Nitrile Rubber (NBR) Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) wherein each sun is irradiated at different lengths of time. The rotational speed used is 31,3 rpm with a load of 14.71 N and a track length of 1000 m.*

*The study showed that the specific wear rate will be greater as the material is exposed to the sun. The best life time for Ethylene Propylene Diene Monomers material is 3,7 years and the best life time for Nitrile Rubber (NBR) material is 5,5 years so that it can be used as a substitute material.*

**Keywords** : wiper, wiper blade, EPDM, NBR, wear rate, life time

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

**Studi Eksperimental dan Analisa Pengaruh Sinar Matahari Terhadap Laju Keausan (*Wear Rate*) Material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* pada *Wiper Blade***

Tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak, terutama kepada:

1. Bapak, Ibu, mas Fathul Arifin, dan keluarga yang tidak pernah putus memberikan nasihat, doa, dukungan, dan motivasi.
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini
3. Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D selaku Sekretaris Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak Bambang Arip Dwiyanoro, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Dr.Eng. Sutikno, ST., MT. selaku Dosen Wali saya yang telah banyak memberikan saran dan masukan selama di perkuliahan
6. Wakidut family yang telah menemani dan membantu selama masa perkuliahan
7. Keluarga M57 atas dukungan dan kebersamaannya selama kuliah di S1 Teknik Mesin ITS
8. Teman-teman anggota Laboratorium Mekanika Benda Padat Teknik Mesin ITS
9. Semua pihak yang belum saya sebutkan yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir

Terlepas dari semua itu, penulis sadar bahwa masih ada kekurangan pada berbagai aspek dan masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka menerima kritik dan saran dari pembaca agar dapat memperbaiki Tugas Akhir ini. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem <i>Wiper</i> .....	5
2.1.1 Motor <i>Wiper</i> .....	5
2.1.2 Wiper Link .....	6
2.1.3 Wiper Arm.....	7
2.1.4 Wiper Blade.....	7
2.2 Teori Gesekan .....	8
2.3 Keausan .....	13
2.3.1 Pengertian Keausan .....	13
2.3.2 Mekanisme Keausan.....	16
2.4 Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)..	18
2.5 Material Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile Butadiene Rubber).....	20

2.6 Alat Uji Keausan Material.....	21
BAB III METODELOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Langkah Penelitian .....	26
3.3 Diagram Alir Pengujian.....	32
3.4 Langkah Kerja Pengujian .....	33
3.5 Spesifikasi Peralatan Tribometer.....	34
3.6 Data Hasil Pengujian Keausan .....	35
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> ..	39
4.1.1 Perhitungan Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) .....	39
4.1.2 Analisa Laju Keausan Pada Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM).....	40
4.2 Material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	44
4.2.1 Perhitungan Material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	44
4.2.2 Analisa Laju Keausan Pada Material <i>Nitrile Rubber</i> ( <i>NBR</i> ) .....	45
4.3. Perbandingan Keausan Nitrile Rubber (NBR) dan Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM).....	49
4.4 Perhitungan Umur Hidup Material .....	53
BAB V PENUTUP .....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor <i>Wiper</i> .....	6
Gambar 2. 2 <i>Wiper Link</i> .....	6
Gambar 2. 3 <i>Wiper Arm</i> .....	7
Gambar 2. 4 <i>Wiper Blade</i> .....	8
Gambar 2. 5 Mekanisme gesekan.....	9
Gambar 2. 6 Pengaruh temperatur dan waktu terhadap koefisien gesekan pada kondisi kering .....	10
Gambar 2. 7 Perubahan koefisien gesekan dalam kondisi <i>tacky</i> .....	11
Gambar 2. 8 Hubungan Antara <i>Dynamics Friction</i> dengan <i>Wear Rate</i> .....	12
Gambar 2. 9 Hubungan antara <i>tensile strength</i> dengan laju keausan <i>rubber</i> .....	13
Gambar 2. 10 Tiga macam tipe kurva keausan .....	14
Gambar 2. 11 <i>Specific wear rate</i> pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan .....	15
Gambar 2. 12 Mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan .....	16
Gambar 2. 13 Mekanisme keausan adesif .....	17
Gambar 2. 14 Mekanisme keausan abrasif.....	17
Gambar 2. 15 Mekanisme keausan lelah.....	18
Gambar 2. 16 Mekanisme keausan korosif .....	18
Gambar 2. 17 Berbagai macam alat uji keausan .....	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3. 2 Desain Pin.....	28
Gambar 3. 3 Pin.....	28
Gambar 3. 4 Desain Disk .....	28
Gambar 3. 5 Disk .....	29
Gambar 3. 6 Ukuran <i>Wiper Blade</i> .....	31
Gambar 3. 7 Diagram Alir Pengujian.....	33

Gambar 3. 8 Tribometer <i>pin on disk</i> .....	35
Gambar 4. 1 Grafik <i>Specific Wear Rate</i> terhadap Lama Penyinaran Matahari pada material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> .....	40
Gambar 4. 2 Grafik <i>Specific Wear Rate</i> Rata-rata terhadap Lama Penyinaran Matahari pada Material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> .....	42
Gambar 4. 3 Foto Mikro <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> Perbesaran 100 X .....	43
Gambar 4. 4 Grafik <i>Specific Wear Rate</i> terhadap Lama Penyinaran Matahari pada material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	45
Gambar 4. 5 Grafik <i>Specific Wear Rate</i> Rata-rata terhadap Lama Penyinaran Matahari pada Material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	47
Gambar 4. 6 Foto Mikro <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	48
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan <i>Specific Wear Rate</i> Material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers</i> dan <i>Nitrile Rubber</i> .....	50
Gambar 4. 8 Perbandingan Foto Mikro Material .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Material Properties Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> ( <a href="http://www.matweb.com">www.matweb.com</a> ) .....	19
Tabel 2. 2 <i>Material Properties Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile Butadiene Rubber)</i> ( <a href="http://www.matweb.com">www.matweb.com</a> ) .....	20
Tabel 3. 1 Data pengujian material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> tanpa disinari matahari. ....	36
Tabel 3. 2 Data pengujian material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> dengan peenyinaran 100 jam. ....	36
Tabel 3. 3 Data pengujian material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> dengan peenyinaran 200 jam. ....	36
Tabel 3. 4 Data pengujian material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> tanpa disinari matahari.....	36
Tabel 3. 5 Data pengujian material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> dengan peenyinaran 100 jam. ....	37
Tabel 3. 6 Data pengujian material <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> dengan peenyinaran 200 jam. ....	37
Tabel 4. 1 Perhitungan specific wear rate pada material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> tanpa penyinaran matahari .....	39
Tabel 4. 2 Perhitungan specific wear rate pada material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> dengan penyinaran 100 jam .....	39
Tabel 4. 3 Perhitungan specific wear rate pada material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> dengan penyinaran 200 jam .....	40

Tabel 4. 4 Perhitungan material <i>specific wear rate</i> pada <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> tanpa penyinaran matahari..	44
Tabel 4. 5 Perhitungan material <i>specific wear rate</i> pada <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> dengan penyinaran 100 jam	45
Tabel 4. 6 Perhitungan material <i>specific wear rate</i> pada <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> dengan penyinaran 200 jam	45
Tabel 4. 7 Nilai Kenaikan <i>Specific Wear Rate</i> pada material <i>Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)</i> dan <i>Nitrile Rubber (NBR)</i> .....	50
Tabel 4. 8 Perhitungan Umur Hidup Material .....	53



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Tribologi adalah ilmu yang mempelajari peristiwa interaksi dua permukaan yang bergerak relatif satu terhadap lainnya, dimana didalamnya terdapat fenomena gesekan, pelumasan, dan keausan yang memberikan kontribusi dalam upaya meminimalkan keausan akibat kontak antara dua permukaan, sehingga dapat diterapkan di industri untuk menganalisa kasus kegagalan atau kerusakan. Keausan terjadi apabila terdapat dua atau lebih benda yang saling menekan dan bergesekan. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan gesekan, tekanan, kekasaran permukaan, dan kekerasan bahan. Salah satu cara untuk mengurangi keausan yang terjadi akibat kontak langsung antara dua permukaan benda yang saling bergerak adalah dengan memberikan pelumasan. Dengan hadirnya pelumasan akan mengurangi gaya gesek dan mengurangi panas yang ditimbulkan karena gaya gesek sehingga dapat memperpanjang *life time* material.

Salah satu fenomena gesekan yang terjadi dalam dunia otomotif adalah gesekan yang terjadi antara *wiper blade* dan kaca mobil. *Wiper blade* merupakan komponen yang sangat penting dan erat hubungannya dengan keselamatan pengemudi terutama pada saat turun hujan karena *wiper blade* dapat menjamin pandangan pengemudi agar tidak terhalang oleh air hujan dengan cara menyapu air hujan yang jatuh ke kaca mobil. Pada saat *wiper blade* bekerja, akan terjadi gesekan pada material *wiper blade* dengan kaca yang dapat mengakibatkan adanya keausan pada material *wiper*. Material yang biasanya digunakan pada *wiper blade* mobil adalah bahan *rubber* dengan jenis *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dimana pada material ini biasa terjadi keausan karena bergesekan dengan kaca mobil. Karena adanya fenomena keausan tersebut, lama kelamaan

material *rubber* akan dapat menimbulkan goresan-goresan pada kaca mobil yang dapat mengganggu pandangan pengendara. Selain itu, adanya keausan pada *wiper blade* akan mengurangi fungsi dari *wiper* menjadi kurang sempurna dikarenakan air yang jatuh ke kaca mobil tidak tersapu secara sempurna. Akibatnya air yang tertinggal akan mengganggu pandangan pengendara.

Sebuah penelitian dari *Freedom of Information Act* (2015) menemukan adanya kaitan antara penyebab utama kecelakaan di jalan raya dengan visibilitas yang terganggu. Apabila pandangan pengendara terganggu, mereka tidak memiliki cukup waktu untuk dapat bereaksi terhadap kondisi berbahaya yang muncul di dekatnya sehingga dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan A. Koenen dkk, dalam segala kondisi baik kondisi basah, *tacky*, maupun kering, besarnya *friction coefficient* akan semakin besar apabila *sliding distance* semakin panjang. Itu artinya semakin sering *wiper* digunakan maka gesekan yang terjadi akan semakin besar sehingga akan menyebabkan keausan yang lebih besar. Oleh sebab itu perlu diketahui kapan suatu material *rubber* pada *wiper blade* harus diganti.

Pada saat mobil berada di ruang terbuka pada siang hari, mobil akan terkena sinar matahari untuk waktu yang lama dimana akan berpengaruh pada keausan material *rubber* pada *wiper blade*. Laju keausan semakin buruk ketika material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terkena sinar matahari untuk waktu yang lama. Semakin lama intensitas material terkena sinar matahari maka laju keausan juga akan semakin naik. Pengaruh dari *ozon* dan pancaran sinar *ultraviolet* dari sinar matahari dapat merusak struktur kimia pada material *rubber* sehingga lama-kelamaan material *rubber* mengalami pengerasan dan mengurangi elastisitas dari *rubber*. Material *rubber* yang semakin keras dan tidak elastis akan berdampak pada laju keausan dari material tersebut dimana laju keausan material tersebut akan semakin naik. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini

akan dilakukan penelitian terhadap laju keausan material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* untuk mengetahui *wear rate coefficient* dan *life time* material sehingga dapat dilakukan pencegahan terhadap kerusakan pada *wiper blade* untuk mencegah timbulnya goresan-goresan pada kaca mobil akibat gesekan antara kaca dengan *wiper blade* karena material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terauskan., serta mencari material alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti dari material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dengan *wear rate coefficient* dan *life time* yang lebih baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh sinar matahari terhadap laju keausan (*wear rate*) pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*
2. Bagaimana *life time* dari material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang digunakan pada *wiper blade*
3. Apakah material *Nitrile Rubber (NBR)* memiliki *wear rate* dan *life time* lebih baik daripada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* sehingga dapat dijadikan sebagai material pengganti.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan dianggap sama.
2. Dilakukan pada suhu ruangan.
3. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen.
4. Beban yang digunakan konstan 14,7 N.
5. Kecepatan putar disk konstan 31,3 rpm.

6. Material terkena sinar matahari dengan temperatur antara 30°C - 36°C.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh sinar matahari terhadap laju keausan (*wear rate*) pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*
2. Untuk mengetahui *life time* material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang digunakan pada *wiper blade*
3. Untuk mengetahui apakah material *Nitrile Rubber (NBR)* memiliki *wear rate* dan *life time* lebih baik daripada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* sehingga dapat dijadikan sebagai material pengganti.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui waktu penggantian *wiper blade* serta sebagai rekomendasi dalam pemilihan material yang dapat digunakan untuk *wiper blade* pada mobil.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

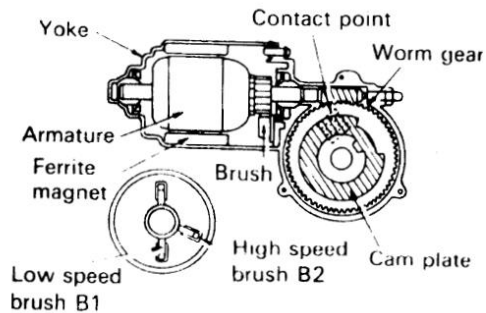
#### **2.1 Sistem Wiper**

Sistem *wiper* merupakan penghapus kaca yang berfungsi untuk membersihkan kaca dari air hujan, salju, debu, lumpur, dan kotoran-kotoran lainnya, sehingga pandangan pengendara tidak terhalang. Saat hujan turun, kaca mobil akan menjadi kabut karena air hujan, dan jika air hujan yang menempel pada kaca tidak dibersihkan dapat membahayakan keselamatan pengendara. Oleh karena itu, peranan *wiper* pada mobil menjadi sangat penting sebagai penghapus air hujan yang menempel pada kaca yang mengakibatkan berkurangnya pengelihatan pengemudi.

Sistem *wiper* terdiri dari motor *wiper* sebagai penggerak, tuas *wiper* (*wiper link*) untuk merubah gerak putar dari motor *wiper* menjadi gerakan bolak balik pada poros *wiper*, lengan *wiper* (*wiper arm*), dan *wiper blade* yang terdiri dari sebuah karet untuk menyapu permukaan kaca. (Toyota, 1995)

##### **2.1.1 Motor Wiper**

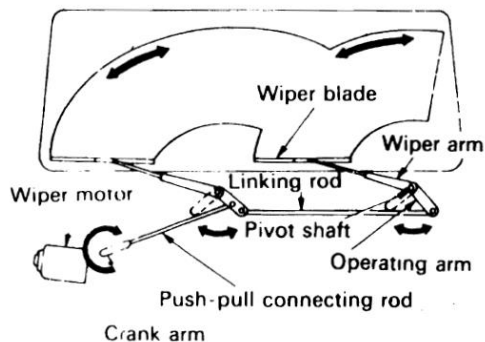
Salah satu komponen penting pada *wiper* adalah motor *wiper* yang berfungsi sebagai penggerak dalam sistem *wiper*. Motor yang digunakan adalah sebuah motor magnet dengan gigi reduksi. Ada dua cara yang dapat digunakan untuk menimbulkan medan magnet motor yaitu tipe *wound-rotor* yang menggunakan lilitan (*coil*) untuk membuat elektromagnet dan tipe *ferrite magnet* yang menggunakan *ferrite magnet* permanen. Saat ini *ferrite magnet* banyak digunakan dan dikembangkan karena lebih kompak, ringan, dan ekonomis serta menggunakan motor DC.



Gambar 2. 1 Motor *Wiper* (Toyota, 1995)

### 2.1.2 Wiper Link

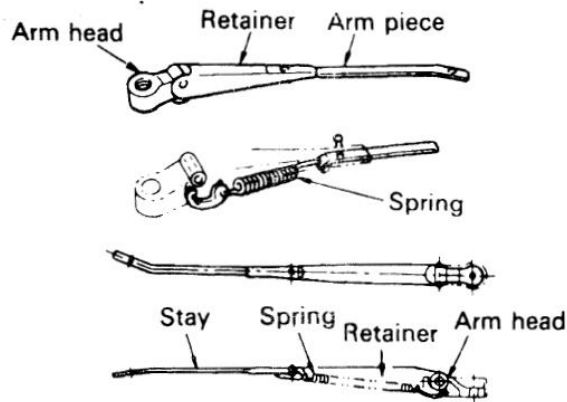
*Wiper link* berfungsi untuk merubah gerak putar dari motor *wiper* menjadi gerak bolak balik pada poros *wiper*. Pada gerakan tuas tipe paralel tandem, motor mulai memutar *crank arm* bila motor dihidupkan. Batang penghubung tarik dorong dihubungkan dengan *crank arm* menyebabkan *arm* bekerja untuk membuat gerakan setengah lingkaran mengelilingi poros pivot. *Linking rod* lainnya yang terpasang pada *arm* selalu membuat gerakan penghapusan setengah lingkaran secara paralel.



Gambar 2. 2 *Wiper Link* (Toyota, 1995)

### 2.1.3 Wiper Arm

*Wiper arm* terdiri dari *head* untuk mengikatkan *wiper arm* dengan *wiper shaft*, sehingga gerakan yang dihasilkan oleh motor *wiper* sampai ke *wiper arm*. Sebuah pegas untuk menahan *wiper blade*, *arm piece* untuk pemasangan *blade* dan *retainer* untuk menahan keseluruhannya. Sering kali *wiper* dapat menghalangi jarak penglihatan pengemudi saat berhenti. Untuk mengurangi sisi kelemahan ini, sekarang telah disempurnakan dengan adanya *Concealed wiper*. *Concealed wiper* merupakan tempat penyimpanan *wiper* yang terletak antara kaca dan kap mesin.

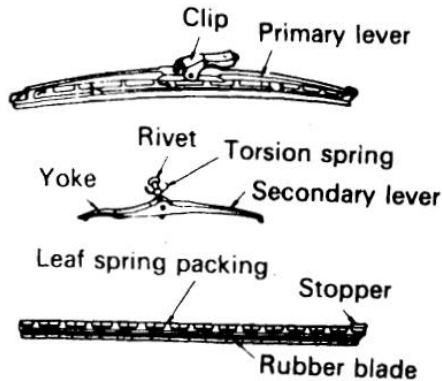


Gambar 2. 3 *Wiper Arm* (Toyota, 1995)

### 2.1.4 Wiper Blade

*Wiper blade* terdiri dari sebuah karet untuk menyapu permukaan kaca dari kotoran yang melekat seperti air hujan, debu, salju, dan kotoran lain. Selain itu juga terdapat suatu kombinasi dari *leaf spring packing* dan beberapa *lever*, serta *clip* untuk memasang *blade* pada bagian *wiper arm*. Karet yang digunakan untuk waktu yang lama akan mengalami penurunan kualitas yang disebabkan oleh sinar matahari, temperatur, dan sebagainya. Kualitas dari *wiper blade* perlu tetap dijaga dengan

melakukan pemeriksaan secara rutin dan mengganti *blade* secara berkala.



Gambar 2. 4 Wiper Blade (Toyota, 1995)

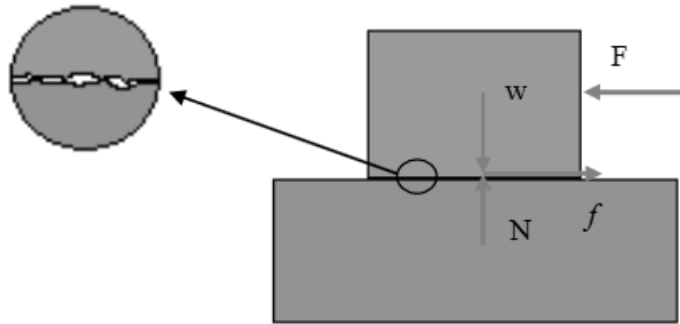
Untuk menyempurnakan fungsi dari *wiper blade*, pada mobil juga dilengkapi dengan *washer* yang berguna untuk mengurangi beban pada motor *wiper* saat membersihkan debu dan binatang-binatang kecil dari kaca depan dan belakang. Pada *washer* terdapat pompa yang digunakan untuk memompa cairan pembersih yang terdapat pada tangki menuju *nozzel* yang terletak pada kaca (Toyota, 1995).

## 2.2 Teori Gesekan

Ketika dua benda saling bersinggungan satu dengan yang lainnya, apabila diamati pergerakannya seperti dilawan oleh suatu gaya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Fenomena ini adalah gesekan (*friction*), sedangkan gaya yang bekerja di dalamnya disebut gaya gesek (*friction force*). Gesekan atau *friction* adalah bentuk dari hilangnya energi yang terjadi diantara dua permukaan yang saling kontak dan bergerak relatif, dan sering dinyatakan sebagai gaya yang melawan. Gesekan diuraikan dengan koefisien gesek ( $\mu$ ). Koefisien gesek adalah suatu fungsi



area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi.



Gambar 2. 5 Mekanisme gesekan

Orang pertama yang melakukan studi kuantitatif pada masalah gesekan adalah Leonardo Da Vinci (1452-1519). Eksperimen yang dilakukan adalah meletakkan balok pada bidang datar dan memberikan beban yang digantungkan untuk membuat balok bergerak sliding. Dengan menggunakan metode tersebut, Da Vinci hanya mampu mengukur gesekan statis dan kemungkinan besar dia tidak menyadari perbedaan antara gesekan statis dan kinetik. Da Vinci menemukan dua hukum gesekan, yaitu:

1. Gesekan yang ditimbulkan oleh beban yang sama akan memiliki nilai resistansi yang sama pada awal balok bergerak walaupun balok memiliki panjang dan lebar yang berbeda.
2. Gaya gesekan akan menjadi dua kali lipat apabila massa juga dibuat dua kali lipat.

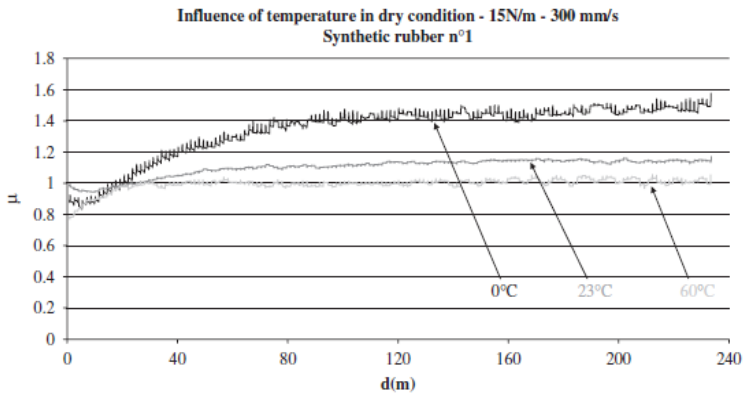
Da Vinci mendefinisikan koefisien gesekan sebagai rasio dari gaya gesekan dibagi dengan gaya normal, yang dirumuskan:

$$F = \mu \cdot N \quad (2.1)$$

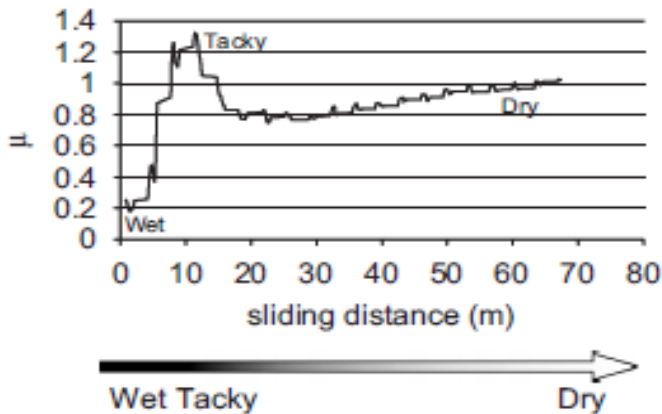
Dimana  $F$  adalah gaya gesekan,  $\mu$  adalah koefisien gesekan, dan  $N$  adalah gaya normal. Hukum inilah yang menjadi dasar hukum gesekan hingga sekarang.

Merujuk pada penelitian Da Vinci, hukum mengenai gesekan dirumuskan juga oleh fisikawan Perancis yaitu Guillaume Amontons (1699) yang menyatakan bahwa koefisien gesekan tidak bergantung pada luas proyeksi permukaan yang bersentuhan.

Pengujian juga dilakukan oleh A. Koenen dan A. Sanon untuk menunjukkan fenomena yang terjadi pada kontak antara *wiper blade* dan kaca. Pada pengujian tersebut didapatkan hasil hubungan antara perubahan koefisien gesekan dengan temperatur pada kondisi kering dimana saat berada pada temperatur rendah maka nilai dari koefisien gesekan akan tinggi dan saat berada pada temperatur yang lebih tinggi, nilai koefisien gesek akan lebih rendah seperti pada gambar 2.6



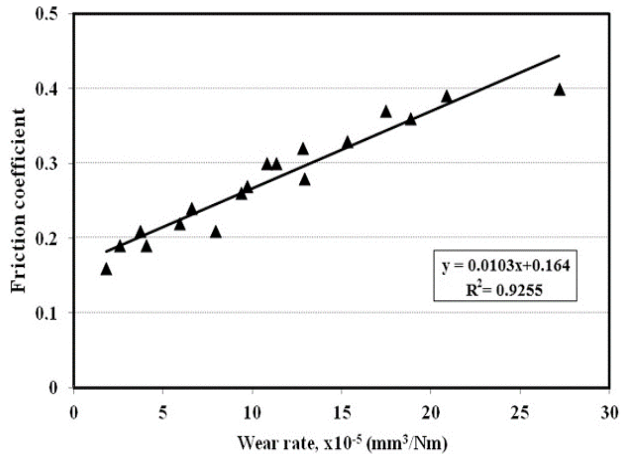
Gambar 2. 6 Pengaruh temperatur dan waktu terhadap koefisien gesekan pada kondisi kering (A. Koenen, A. Sanon, 2007)



Gambar 2. 7 Perubahan koefisien gesekan dalam kondisi tacky (A. Koenen, A. Sanon, 2007)

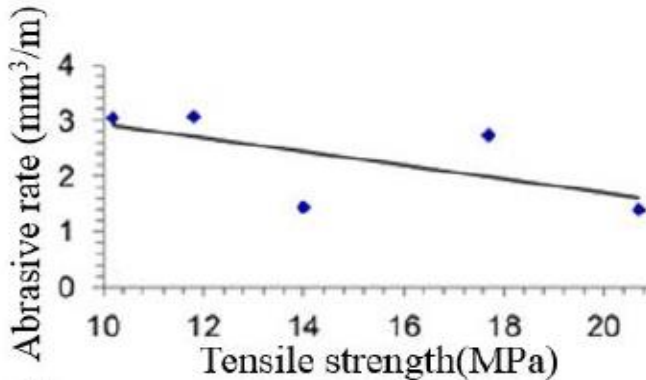
Setelah melakukan pengujian pada kaca yang basah, akan terjadi evaporasi pada air dan berada pada kondisi tacky. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan koefisien gesekan yang lebih signifikan daripada kondisi kering seperti pada gambar 2.7.

Besarnya nilai dari *friction coefficient* ( $\mu$ ) akan mempengaruhi laju keausan (*wear rate*) yang terjadi pada suatu material. Adanya *friction coefficient* akan berpengaruh pada kekasaran permukaan dan *asperity*. *Asperity* pada suatu material akan dapat menimbulkan adanya delaminasi ataupun menyebabkan adanya *pitting* pada permukaan material dan akan meningkatkan laju keausan. Sehingga semakin besar nilai *friction coefficient* ( $\mu$ ) maka akan mengakibatkan laju keausan (*wear rate*) yang semakin besar seperti terlihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2. 8 Hubungan Antara *Dynamics Friction* dengan *Wear Rate* (Uygunoğlu, T., Brostow, W., & Gunes, I. 2015)

Pada penelitian yang lain F. Hakami, dkk melakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh *tensile strength* terhadap keausan material *rubber*. Dari penelitian yang dilakukan, F. Hakami dkk mendapatkan hasil bahwa apabila nilai dari *tensile strength* semakin tinggi maka keausan yang terjadi semakin kecil seperti gambar 2.9. *Tensile strength* erat hubungannya dengan elastisitas bahan dimana nilai *tensile strength* akan lebih besar pada material yang lebih elastis sehingga *rubber* yang telah mengeras dan berkurang elastisitasnya akan memiliki *tensile strength* yang lebih kecil dan menyebabkan laju keausannya lebih besar.



Gambar 2. 9 Hubungan antara *tensile strength* dengan laju keausan *rubber* (F. Hakami, A. Pramanik, N. Ridgway, A.K. Basak, 2017)

Paparan sinar matahari dapat mempengaruhi *material properties* dari *rubber* dimana akan berpengaruh terhadap *tensile strength*, *elongation at break*, kekerasan, dan modulus elastisitas dari material *rubber*. Semakin lama material *rubber* terpapar sinar matahari akan menurunkan *tensile strength*, *elongation at break*, dan juga modulus elastisitasnya. Sedangkan nilai dari kekerasan akan semakin naik dengan kondisi yang lebih *brittle*. (A. S. Tan, C.L. Lim, & B.L. Chan. 1997)

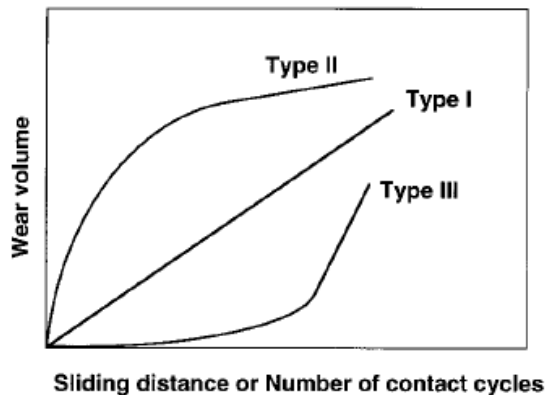
## 2.3 Keausan

### 2.3.1 Pengertian Keausan

Keausan didefinisikan sebagai hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi sebagai hasil dari gerak relatif pada permukaan. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi dan geometri permukaan benda yang terjadi keausan. Suatu komponen struktur dan mesin agar berfungsi dengan baik sangat bergantung pada sifat-sifat

yang dimiliki material. Material yang dapat digunakan sangat beraneka ragam seperti logam, polimer, keramik, gelas dan komposit. Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya, namun jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan dan kekuatan), friksi serta pelumasan. Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. (Bharat Bhushan, 2001).

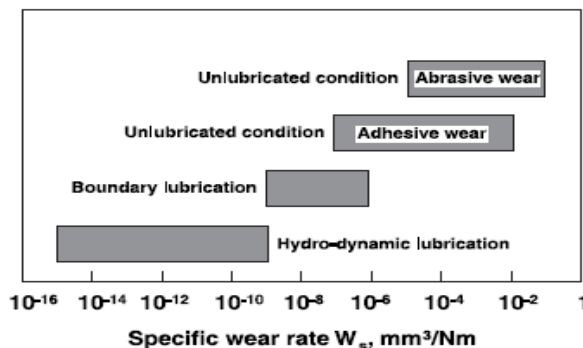
Akibat negatif yang ditimbulkan oleh mekanisme yang beragam adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Tiga macam tipe kurva keausan (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980)

Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya laju keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada laju yang rendah. Tipe keausan ini sering diamati pada jenis material logam. Tipe III menunjukkan laju keausan rendah menuju laju keausan yang begitu tinggi seperti *fatigue fracture* yang biasanya terjadi pada material jenis keramik.

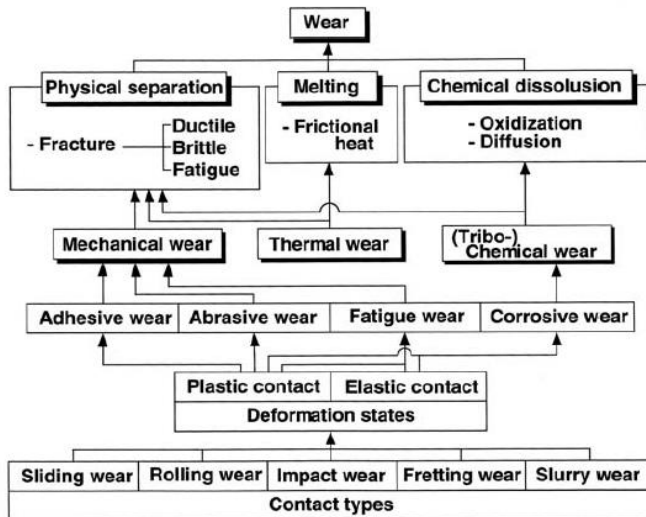
Pada umumnya keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan dari material yang aus. Pada gambar 2.11 ditunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range  $10^{-15}$  hingga  $10^{-1}$  mm<sup>3</sup>/Nm.



Gambar 2. 11 *Specific wear rate* pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980)

### 2.3.2 Mekanisme Keausan

Keausan pada suatu material dapat terjadi melalui empat macam mekanisme yaitu keausan adesif, keausan abrasif, keausan lelah, dan keausan korosif seperti yang digambarkan pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 12 Mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan (Tegar, 2010)

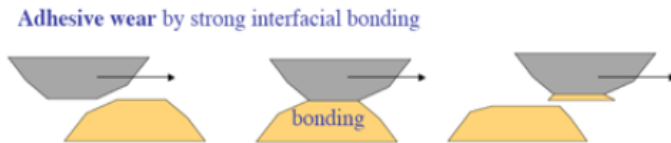
#### 1. Keausan Adhesif (*Adhesive Wear*)

Keausan *adhesive* adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat atau melekat atau berpindah partikel dari suatu permukaan material yang lemah ke material yang lebih keras serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan / pengoyakan salah satu material. Proses bermula ketika benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lemah kemudian terjadi pengikatan seperti ditunjukkan pada



Gambar 2.13. Pengikatan ini terjadi secara spontan dan dapat terjadi dalam suhu yang rendah atau moderat.

Keausan adesif terjadi karena adanya beberapa faktor antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada material, yaitu ikatan ion, ikatan kovalen, ikatan logam, ataupun ikatan van der Waals dari material yang bergesekan.



Gambar 2. 13 Mekanisme keausan adesif (H. Czichos, 1978)

## 2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Keausan jenis ini terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak seperti diperlihatkan pada Gambar 2.14. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau asperity tersebut.

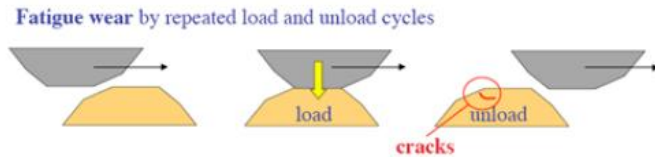


Gambar 2. 14 Mekanisme keausan abrasif (H. Czichos, 1978)

## 3. Keausan Lelah (*Fatigue Wear*)

Keausan lelah/fatig pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara *abrasif* atau *adhesif*. Tetapi keausan jenis ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya

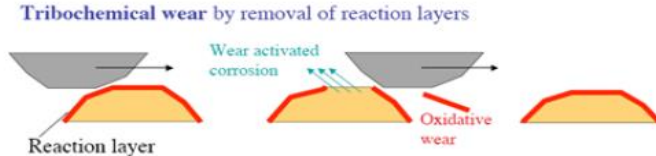
menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan gesek.



Gambar 2. 15 Mekanisme keausan lelah (H. Czichos, 1978)

#### 4. Keausan Korosif (*Corrosive Wear*)

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antara proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, proses oksidasi yang sering terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam. Proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan juga terjadi abrasi. Peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada *asperiti* adalah akibat dari keausan kimiawi.



Gambar 2. 16 Mekanisme keausan korosif

## 2.4 Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)

Material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* biasa dikenal sebagai karet sintetis merupakan material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* juga biasa ditandai dengan simbol *M-class* yang merupakan indikasi bahwa rubber ini adalah spesifikasi dari standar ASTM D-1418 dimana *M-class* menunjukkan bahwa karet tersebut memiliki rantai jenuh tipe *polymethylene*. Material ini mempunyai kandungan *ethylene* sekitar 45% hingga 85%. *Ethylene Propylene Diene Monomers*

(EPDM) memiliki karakteristik tahan terhadap suhu tinggi maupun suhu rendah, cuaca, dan uap, serta memiliki sifat isolator listrik yang sangat baik.

Tabel 2. 1 *Material Properties Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* ([www.matweb.com](http://www.matweb.com))

Physical Properties	Density	0,860 g/cc
Mechanical Properties	Hardness	40-90
	Tensile Strength	17,0 MPa
	Elongation at Break	600 %
Thermal Properties	Maximum Service Temperature, Air	150 C
	Minimum Service Temperature, Air	-54,0 C
	Brittleness Temperature	-67,8 C

Lembaran karet jenis *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* banyak digunakan untuk pembuatan produk atap karena berbagai alasan diantaranya memiliki ketahanan terhadap ozon yang baik, tahan terhadap panas dan cuaca ekstrim serta tahan terhadap pancaran sinar *ultraviolet*. *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* mengandung *titanium dioksida* yang berguna untuk memantulkan sinar *ultraviolet* dan mengurangi degradasi *polimer*. Selain itu rubber jenis ini juga memiliki ketahanan air dan kualitas insulasi yang baik sehingga material ini menjadi pilihan untuk sambungan kabel dan aplikasi listrik lainnya. *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* juga sering digunakan pada pintu kamar dingin seperti kulkas. Sifat insulasi yang baik dari bahan ini membantu mencegah air, panas, ataupun dingin masuk ke lingkungan tertutup. Dalam dunia otomotif, material ini biasa digunakan sebagai segel untuk jendela dan pintu mobil, *belt*, *seals*, dan lain sebagainya.

## 2.5 Material Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile Butadiene Rubber)

Nitrile Rubber yang juga dikenal sebagai *NBR* merupakan *copolymer* dari *butadiene* dan *acrylonitrile*. Nitrile rubber ditandai dengan *R-type* pada standar ASTM D-1418 yang menunjukkan bahwa karet jenis ini memiliki rantai karbon tak jenuh. Kandungan dari *acrylonitrile* dapat berkisar dari 18-50 %. Peningkatan dari kandungan *acrylonitrile* akan membuat material ini mempunyai kekerasan yang lebih tinggi, kekuatan, ketahanan terhadap panas yang baik, serta ketahanan yang baik terhadap abrasi. *NBR* pada umumnya dapat rusak oleh pelarut yang terklorinasi, *aldehydes*, *esters*, pelarut yang mengandung nitrogen.

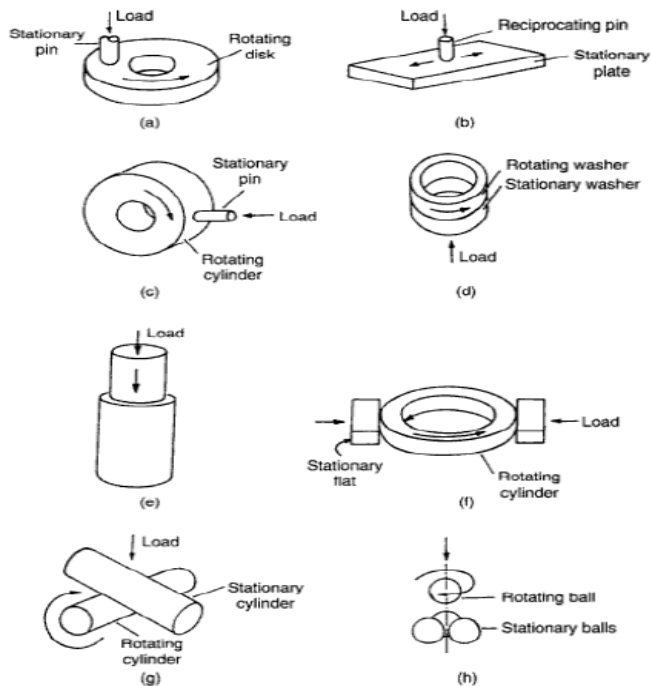
Tabel 2. 2 *Material Properties Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile Butadiene Rubber)* ([www.matweb.com](http://www.matweb.com))

Physical Properties	Density	1,15 – 1,35 g/cc
Mechanical Properties	Hardness	30 – 95
	Tensile Strength	24,1 MPa
	Elongation at Break	400 - 600 %
Thermal Properties	Maximum Service Temperature, Air	120 C
	Minimum Service Temperature, Air	-30 C
	Brittleness Temperature	-51,1 C

Dalam kehidupan sehari-hari, material *NBR* banyak digunakan dalam industri otomotif dan aeronautika untuk membuat selang bahan bakar dan minyak, seals, dan pelindung tangki bahan bakar. Selain itu, material ini juga digunakan dalam industri nuklir untuk membuat sarung tangan pelindung. Kemampuan *NBR* untuk mampu menahan suhu dari -40 C hingga 108 C membuatnya menjadi bahan yang ideal untuk bidang aeronautika.

## 2.6 Alat Uji Keausan Material

Alat uji keausan atau yang sering dikenal dengan tribometer merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur gesekan dan keausan antara dua permukaan material. Ada beberapa desain pada tribometer, tapi yang paling sering digunakan adalah permukaan datar atau bulat yang bergerak berulang-ulang diseluruh permukaan material lain seperti gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Berbagai macam alat uji keausan (a) *Pin-on disk* (b) *Pin-on-flat* (c) *Pin-on-cylinder* (d) *Thrust washer* (e) *Pin-into-bushing* (f) *Rectangular flats on rotating cylinder* (g) *Crossed cylinder* (h) *Four ball* (Tegar, 2010)

Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai macam-macam alat uji keausan seperti yang disebutkan pada gambar 2.17.

#### 1. *Pin-on-Disk*

Pada tribometer *pin-on-disk*, pin ditahan diam dan disk berotasi. Pin dapat berupa bola yang tidak berotasi, ujung pin berupa setengah bola, atau ujung berbentuk flat atau datar seperti pada gambar (2.17a). Pengujian dengan alat ini paling sering diaplikasikan untuk pengembangan materi pada aplikasi tribologi.

#### 2. *Pin-on-Flat Reciprocating*

Pada pengujian dengan menggunakan alat ini, plat bergerak bolak-balik dan pin ditahan diam, atau sebaliknya plat yang diam dan pin bergerak bolak balik, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.17b). Pin dapat berupa bola, ujung setengah bola, atau silinder dengan ujung flat atau datar.

#### 3. *Pin-on-Cylinder (Edge Loaded)*

Pengujian dengan alat ini sama dengan pengujian pada *pin-on-disk*, tetapi beban pada pin bergesekan dengan permukaan yang melingkar pada disk seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.17c). Pin dapat berupa silinder dengan ujung datar atau setengah bola.

#### 4. *Thrush Washer (Face Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, permukaan datar silinder atau ring (*washer*) berotasi di atas permukaan datar ring yang diam dan beban diberikan pada permukaan datar ring yang diam seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.17d). Ring dapat berupa silinder pejal atau silinder berlubang di bagian tengah. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk menguji material yang tegangannya rendah, seperti jurnal bearing.

#### 5. *Pin-into-Bushing (Edge Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, gaya axial diberikan untuk menekan tabung seperti pada gambar (2.17e)

#### 6. *Rectangular Flats on Rotating Cylinder (Edge Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, dua balok mengapit silinder yang berputar, dimana satu balok diam dan balok yang lainnya diberi beban seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.17f)

#### 7. *Crossed Cylinder*

Pengujian dengan alat ini terdiri dari dua silinder yang tengahnya berlubang atau dua silinder pejal, salah satu diam dan silinder yang lain berotasi dengan sudut 90 seperti ditunjukkan pada gambar (2.17g)

#### 8. *Four Ball*

Pengujian dengan alat ini terdiri dari empat bola yang berbentuk tetrahedral. Bola yang paling atas berotasi dan menggesek tiga bola yang ada di bawahnya yang ditahan diam pada posisinya, seperti yang ditunjukkan gambar (2.17h)

Parameter tribologi yang dapat diperoleh dari eksperimen dengan menggunakan alat uji keausan material (tribometer) dapat berupa *specific wear rate* dan juga *wear rate*. *Specific wear rate* merupakan besarnya volume yang hilang per satuan beban dan jarak dimana nilai dari *specific wear rate* tidak dipengaruhi oleh kekerasan dari material, sedangkan *wear rate* merupakan besarnya volume yang hilang per satuan jarak yang nilainya bergantung pada kekerasan material. Besarnya nilai *specific wear rate*  $K$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Archard sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta m}{L.F.\rho} \quad (2.2)$$

Perubahan massa  $\Delta m$  dibagi dengan massa jenis  $\rho$  adalah perubahan volume  $\Delta V$ , sehingga persamaan (2.1) dapat dituliskan sebagai berikut

$$K = \frac{\Delta V}{L.F} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- $K$  = *specific wear rate* ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )
- $\Delta m$  = perubahan massa (kg)
- $\Delta V$  = perubahan volume ( $\text{mm}^3$ )
- $F$  = gaya (N)
- $\rho$  = massa jenis benda ( $\text{kg}/\text{mm}^3$ )

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

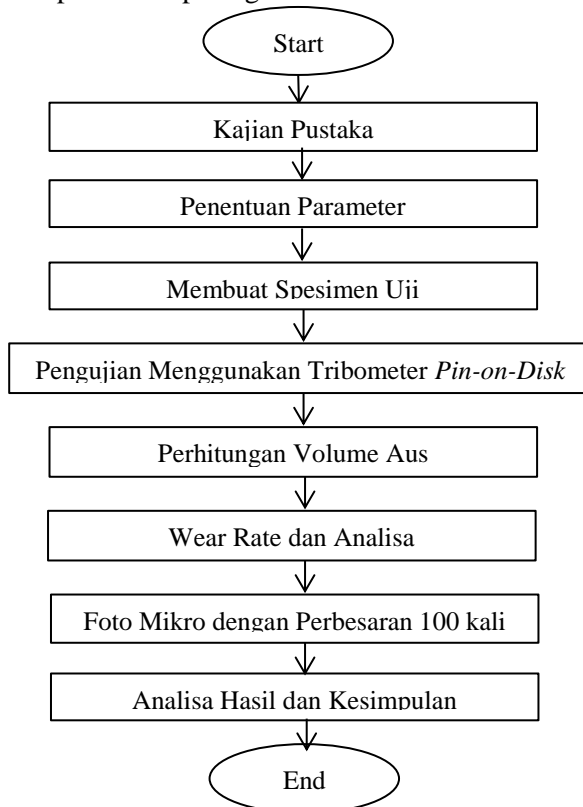


### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan secara eksperimental atau analisis, yaitu pengambilan data dilakukan secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *specific wear rate* dan struktur permukaan spesimen uji. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian pengujian laju keausan (*wear rate*) pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* adalah sebagai berikut :

#### 1. Kajian Pustaka

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah kajian pustaka dengan mencari referensi yang berupa tugas akhir, jurnal, thesis, handbook, serta artikel untuk menemukan teori-teori yang berhubungan dengan pengujian keausan pada material *rubber* dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk*.

#### 2. Penentuan Parameter

Setelah melakukan kajian pustaka, langkah selanjutnya adalah dengan menentukan parameter-parameter yang akan digunakan dalam pengujian keausan. Parameter yang dapat ditentukan meliputi kecepatan putar disk yaitu 31,3 rpm karena kecepatan rata-rata *wiper* adalah antara 20 rpm – 30 rpm, panjang lintasan sepanjang 1000 m, beban sebesar 14,71 N yang diasumsikan sebagai beban dari berat *wiper* dan juga beban akibat angin, serta variasi pada material uji dimana material akan dipanasi dibawah sinar matahari selama 100 jam, 200 jam, dan tanpa dipanasi di bawah sinar matahari. Lamanya waktu pengujian dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan rumus

$$t = \frac{s}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \quad (3.1)$$

Keterangan :

t = waktu pengujian (menit)

s = panjang lintasan pin (meter)

d = diameter lintasan pin (meter)

didapatkan waktu pengujian selama :

$$t = \frac{1000}{\pi \cdot 0,08 \cdot 31,3}$$

$$t = 127 \text{ menit}$$

Kecepatan linear rata-rata didapatkan dengan persamaan berikut :

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.2)$$

Keterangan :

v = kecepatan rata-rata (m/s)

s = panjang lintasan pin (meter)

t = waktu pengujian (second)

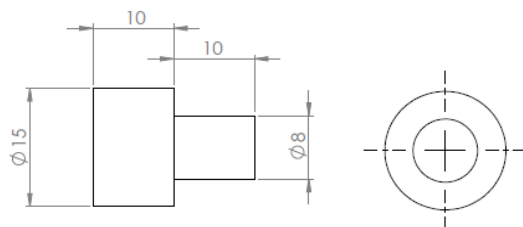
sehingga kecepatan rata-rata didapatkan sebesar :

$$v = \frac{1000 \text{ m}}{127 \cdot 60 \text{ s}}$$

$$v = 0,131 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3. Membuat Spesimen Uji

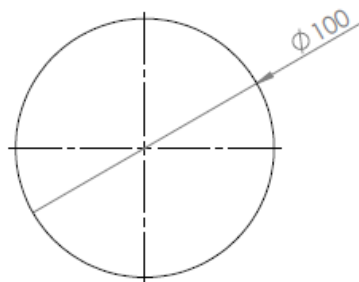
Spesimen yang digunakan sebagai pin dalam pengujian ini adalah material *ethylene propylene diene monomers (EPDM)* dan *nitrile rubber (NBR)* yang beri tiga variasi yaitu tanpa adanya pemanasan di bawah sinar matahari, dengan adanya pemanasan di bawah sinar matahari selama 100 jam, serta dengan adanya pemanasan di bawah sinar matahari selama 200 jam dimana penjemuran dilakukan selama 10 jam setiap hari dari pukul 06.00 sampai dengan 16.00. Sedangkan untuk disk digunakan material kaca.



Gambar 3. 2 Desain Pin



Gambar 3. 3 Pin



Gambar 3. 4 Desain Disk



Gambar 3. 5 Disk

#### 4. Pengujian dengan Tribometer *Pin-on-Disk*

Tribometer yang digunakan pada pengujian adalah tribometer *pin on disk*, meskipun *wiper* bergerak secara bolak-balik. Tribometer *pin on flat reciprocating* tidak digunakan karena *wiper* bekerja dalam keadaan basah dan *stick slip* yang terjadi akibat gerak bolak-balik besarnya tidak dominan sehingga dapat digunakan tribometer *pin on disk*. Pada tahap ini material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang telah dibuat akan di uji dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk* dengan kecepatan 31,3 rpm, dan beban sebesar 14,71 N sehingga akan didapatkan laju keausan dari material tersebut.

#### 5. Perhitungan Volume Aus

Perhitungan volume aus dapat dilakukan setelah pengujian dengan cara menimbang massa awal spesimen sebelum diuji dan massa akhir spesimen setelah diuji. Selisih dari massa awal dan massa akhir spesimen merupakan massa spesimen yang terkikis. Untuk menghitung volume aus pada spesimen dengan diketahui massa spesimen yang terkikis digunakan persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.3)$$

Keterangan :

V = volume material yang terkikis (mm)

m = massa material yang terkikis (gram)

$\rho$  = massa jenis material (gram/cm<sup>3</sup>)

#### 6. Perhitungan *Wear Rate* dan Analisa

Spesimen yang telah dilakukan pengujian selanjutnya akan dihitung besar *specific wear rate* dan umur hidup (*life time*) dengan beberapa persamaan yang kemudian akan dilakukan analisa tentang wear rate tersebut. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

- Perhitungan *Spesific Wear Rate*

$$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L} \quad (3.4)$$

Keterangan :

K = *specific wear rate* (mm<sup>3</sup>/Nm)

$\Delta V$  = volume material yang terkikis (mm<sup>3</sup>)

F = pembebanan (Newton)

L = panjang lintasan (meter)

- Perhitungan Umur Hidup (*Life Time*) Material

$$t = \frac{L}{v} \quad (3.5)$$

Keterangan :

t = umur hidup material (second)

L = panjang lintasan (meter)

v = kecepatan rata-rata (m/s)

Dimana L didapatkan menggunakan persamaan :

$$L = \frac{\Delta V}{K \cdot F} \quad (3.6)$$

Keterangan :

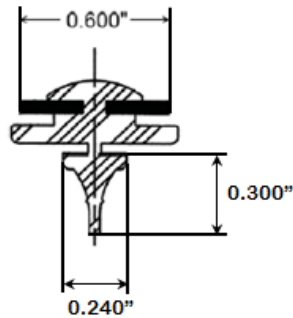
L : Panjang Lintasan (meter)

$\Delta V$  : Volume Batas Aus yang diijinkan (mm<sup>3</sup>)

K : *Specific Wear Rate* (mm<sup>3</sup>/Nm)

F : Pembebanan (N)

Volume batas aus yang diijinkan dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut



Gambar 3. 6 Ukuran *Wiper Blade*

Volume batas aus yang diijinkan didapatkan mengasumsikan bahwa *wiper* sudah tidak dapat digunakan secara efektif apabila bagian segitiga bawah pada Gambar 3.6 telah terauskan. Sehingga volume batas aus yang diijinkan didapatkan dengan menghitung volume segitiga bagian bawah dengan panjang *wiper blade* adalah 16".

$$V = \frac{a \cdot t}{2} l \quad (3.7)$$

$$V = \frac{0,24" \cdot 0,30"}{2} 16"$$

$$V = 0,576 \text{ inch}^3$$

$$V = 9429,65856 \text{ mm}^3$$

#### 7. Foto Mikro dengan Perbesaran 100 kali

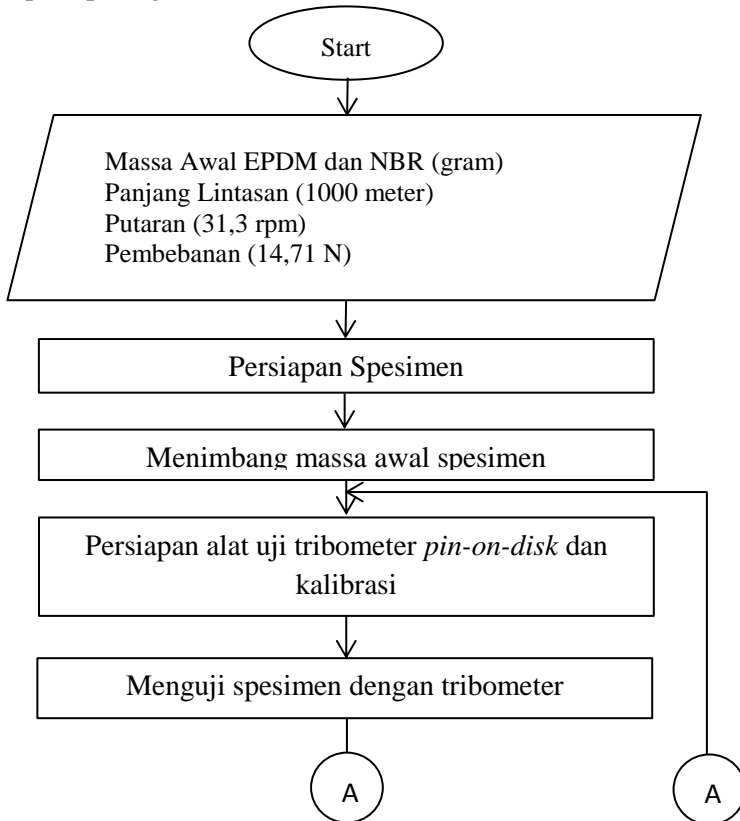
Setelah spesimen diuji selanjutnya akan dilakukan foto mikro menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100 kali untuk mengetahui kondisi permukaan spesimen uji setelah dilakukan pengujian. Dengan adanya foto mikro tersebut, dapat diketahui jenis keausan yang terjadi apakah keausan abrasif, keausan adhesif, atau keausan *fatigue*.

### 8. Analisa Hasil dan Kesimpulan

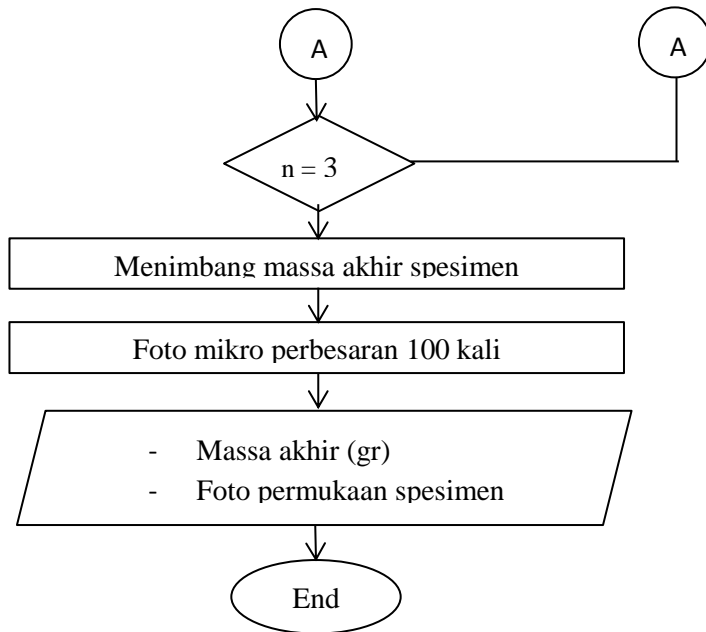
Dari pengujian yang telah dilakukan akan diperoleh beberapa data yang nantinya akan dianalisa *specific wear rate* dan kondisi permukaan, kemudian dibandingkan antar spesimen untuk selanjutnya didapatkan suatu kesimpulan dari keseluruhan penelitian.

### 3.3 Diagram Alir Pengujian

Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian juga disajikan *flowchart* pengujian seperti pada gambar 3.4 berikut ini.







Gambar 3. 7 Diagram Alir Pengujian

### 3.4 Langkah Kerja Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi eksperimental yang memiliki langkah kerja sebagai berikut:

1. Penimbangan massa awal spesimen, penentuan putaran, panjang lintasan, dan pembebanan
2. Persiapan alat uji tribometer *pin-on-disk* dan kalibrasi : *speed control* dan *load*
3. Pengujian spesimen dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk*, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen uji
4. Menimbang massa akhir spesimen
5. Foto mikro menggunakan mikroskop perbesaran 100 kali
6. Mencatat hasil pengujian

### 3.5 Spesifikasi Peralatan Tribometer

Spesifikasi pin on disk yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah:

<i>Sliding speed</i> range	: 8.37 – 250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	: 8 - 100 rpm
Maximum normal <i>load</i>	: 150 N
<i>Frictional force</i>	: 0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	: 10 mm
<i>Pin size</i>	: 8 – 15 mm diameter
<i>Disk size</i>	: 100 mm diameter
<i>Wear track diameter</i>	: 20 – 80 mm

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- Untuk mengukur kecepatan putaran di tingkatan level yang dijaga konstan oleh *speed control* digunakan *tachometer*.
- Untuk mengukur besar *load* untuk pengaturan pegas digunakan timbangan.
- Untuk menimbang massa pin polimer digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0.1 mg

Spesifikasi AC motor, *speed control* dan pegas sebagaimana data berikut :

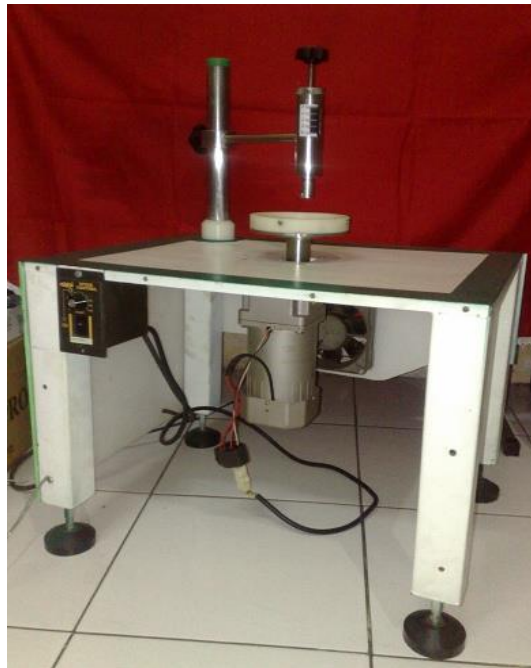
1. Spesifikasi AC motor dan gear box

AC Motor :	Merk	: Peei Moger
	Type	: M-51K90U-CFV
	Daya	: 1Ø 4P 50W CONT. 6,0Mf
		220V 50Hz 90-1400 rpm 220V 60Hz 90-1700 rpm
Gear Box :	Merk	: Peei Moger
	Type	: G-5U25-K
	Ratio	: 1/25
	Max.T	: 77 kgfcm

2. Spesifikasi *Speed control*

Merk	: Peei Moger
------	--------------

- Type : US-5140A-C  
 Range : *speed control 0 – 100 selectable*
3. Spesifikasi pegas  
 Dimensi : panjang 6 cm, diameter pegas 18 mm dan diameter kawat 4 mm  
 Load : 0 – 110 Newton



Gambar 3. 8 Tribometer *pin on disk*

### 3.6 Data Hasil Pengujian Keausan

Data yang diperoleh setelah dilakukan pengujian keausan dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk* adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Data pengujian material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* tanpa disinari matahari.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,6218	5,6194	0,0024	0,86	2,790697674
5,3326	5,3298	0,0028	0,86	3,255813953
5,2718	5,2693	0,0025	0,86	2,906976744

Tabel 3. 2 Data pengujian material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dengan peenyinaran 100 jam.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,3016	5,2989	0,0027	0,86	3,139534884
5,6201	5,6172	0,0029	0,86	3,372093023
5,4313	5,4284	0,0029	0,86	3,372093023

Tabel 3. 3 Data pengujian material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dengan peenyinaran 200 jam.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,2939	5,2907	0,0032	0,86	3,720930233
5,4827	5,4796	0,0031	0,86	3,604651163
5,6895	5,6861	0,0034	0,86	3,953488372

Tabel 3. 4 Data pengujian material *Nitrile Rubber (NBR)* tanpa disinari matahari.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,2703	5,2682	0,0021	1,15	1,826086957
5,7119	5,7094	0,0025	1,15	2,173913043
5,2309	5,2286	0,0023	1,15	2

Tabel 3. 5 Data pengujian material *Nitrile Rubber (NBR)* dengan peenyinaran 100 jam.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,3744	5,3719	0,0025	1,15	2,173913043
5,4621	5,4594	0,0027	1,15	2,347826087
5,6197	5,6171	0,0026	1,15	2,260869565

Tabel 3. 6 Data pengujian material *Nitrile Rubber (NBR)* dengan peenyinaran 200 jam.

$m_0$ (gram)	$m_1$ (gram)	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
5,3954	5,3926	0,0028	1,15	2,434782609
5,2522	5,2491	0,0031	1,15	2,695652174
5,6141	5,6111	0,003	1,15	2,608695652

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperimen tentang laju keausan pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan material *Nitrile Rubber (NBR)* yang bergesekan dengan kaca.

#### 4.1 Material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*

##### 4.1.1 Perhitungan Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)

Hasil dari pengujian laju keausan pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang bergesekan dengan kaca bisa dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Perhitungan specific wear rate pada material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) tanpa penyinaran matahari

Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	s (m)	F (N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	0,0046	0,86	0,002790698	2,79069767	1000	14,715	0,00018965
2	0,0050	0,86	0,003255814	3,25581395	1000	14,715	0,000221258
3	0,0057	0,86	0,002906977	2,90697674	1000	14,715	0,000197552

Tabel 4. 2 Perhitungan specific wear rate pada material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) dengan penyinaran 100 jam

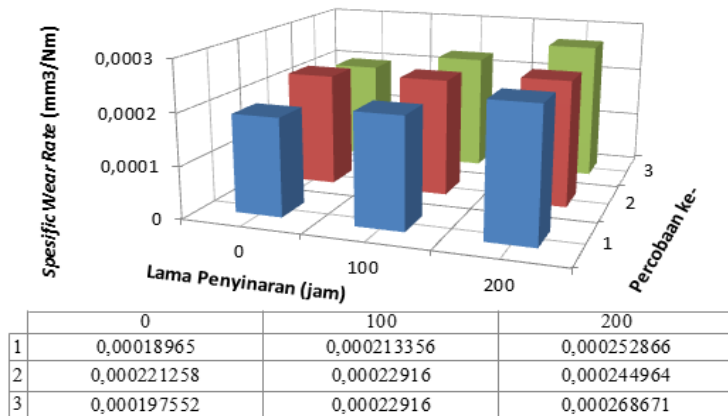
Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	s (m)	F (N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	0,0043	0,86	0,003139535	3,13953488	1000	14,715	0,000213356
2	0,0055	0,86	0,003372093	3,37209302	1000	14,715	0,00022916
3	0,0052	0,86	0,003372093	3,37209302	1000	14,715	0,00022916

Tabel 4. 3 Perhitungan specific wear rate pada material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM) dengan penyinaran 200 jam

Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	s (m)	F (N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	0,0051	0,86	0,00372093	3,72093023	1000	14,715	0,000252866
2	0,0055	0,86	0,003604651	3,60465116	1000	14,715	0,000244964
3	0,0056	0,86	0,003953488	3,95348837	1000	14,715	0,000268671

#### 4.1.2 Analisa Laju Keausan Pada Material Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besarnya *specific wear rate* untuk material *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) dapat dilihat pada Gambar 4.1.

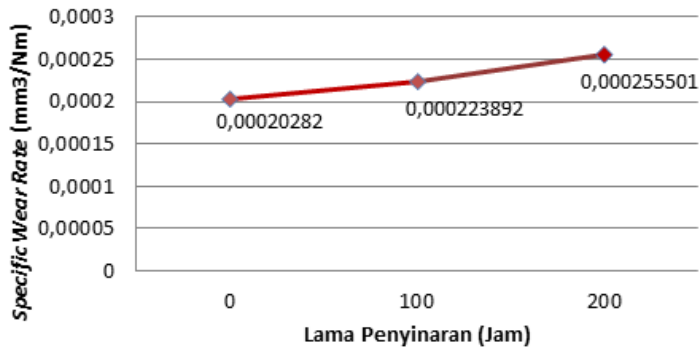


Gambar 4. 1 Grafik *Specific Wear Rate* terhadap Lama Penyinaran Matahari pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM)



Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa pada material *ethylene propylene diene monomers (EPDM)* dilakukan 3 kali percobaan untuk setiap variasi penyinaran dengan menghasilkan nilai *specific wear rate* yang tidak terlalu berbeda jauh. Akan tetapi pada percobaan kedua pada material yang tidak disinari matahari, perbedaan yang timbul cukup berbeda jauh. Perbedaan yang ada disebabkan karena saat pengujian, pembebanan tidak memberikan penekanan yang sempurna. Penekanan dari beban seharusnya terjadi secara konstan, namun kenyataannya penekanan beban mengalami osilasi. Pada material yang tidak diberi sinar matahari pada percobaan pertama didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,00018965 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , pada percobaan kedua sebesar  $0,000221258 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , dan pada percobaan ketiga sebesar  $0,000197552 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Pada pengujian dengan material yang sama dengan lama penyinaran matahari 100 jam didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,000213356 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan pertama,  $0,00022916 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan kedua, dan  $0,00022916 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan ketiga. Pada percobaan dengan material yang sudah disinari matahari selama 200 jam didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,000252866 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan pertama,  $0,000244964 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan kedua, serta  $0,000268671 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Nilai *specific wear rate* terlihat semakin naik seiring semakin lamanya material disinari matahari.

Secara matematis, dapat dijelaskan bahwa besarnya nilai dari *specific wear rate* berbanding lurus dengan volume material *ethylene propylene diene monomers (EPDM)* yang terkikis dan berbanding terbalik dengan beban yang diberikan serta panjang lintasan yang diberikan. Jadi, nilai dari *specific wear rate* akan naik apabila volume material yang terkikis semakin besar. Pada data percobaan ini, volume material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang terkikis (terbuang) akibat gesekan semakin meningkat dengan semakin lamanya material disinari matahari seperti terlihat pada Gambar 4.2 berikut.

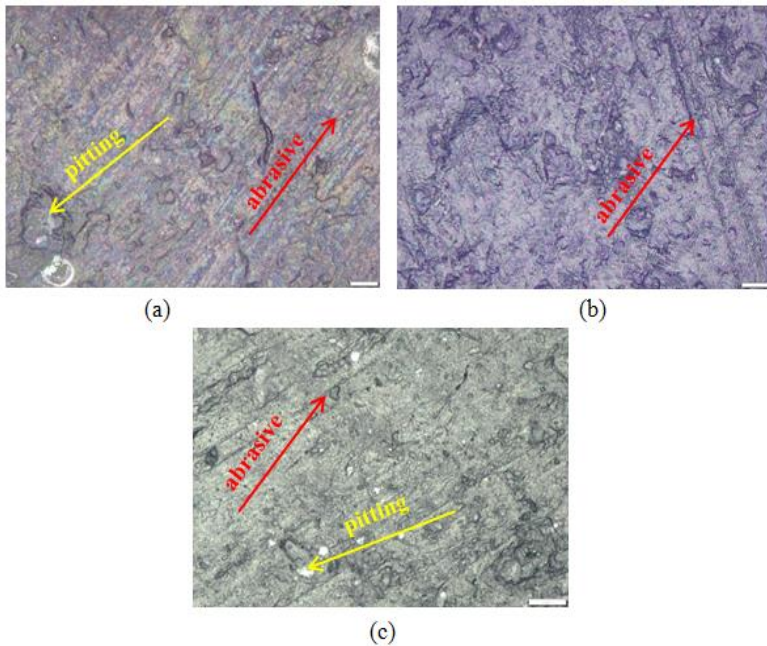


Gambar 4. 2 Grafik *Specific Wear Rate* Rata-rata terhadap Lama Penyinaran Matahari pada Material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*

Pada grafik di atas, terlihat tren grafik yang cenderung semakin naik seiring bertambah lama penyinaran matahari. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai *specific wear rate* akan semakin naik dengan semakin lamanya material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terkena sinar matahari. Volume material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang terauskan nilainya tidak terlalu signifikan perubahannya. Pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang tidak disinari matahari, volume yang terauskan nilainya paling kecil daripada material yang disinari matahari. Sedangkan pada material yang telah disinari matahari selama 200 jam, volume yang terauskan mempunyai nilai paling besar daripada pada material yang tidak disinari matahari dan material yang telah disinari matahari selama 100 jam. Peningkatan volume aus yang terjadi disebabkan karena adanya material debris yang berperan sebagai abrasive yang menambah kekasaran permukaan. Semakin lama bahan karet terkena sinar matahari akan menyebabkan material karet akan semakin keras dan semakin getas sehingga mudah untuk terkikis/terkelupas dan meningkatkan jumlah material debris yang turut menambah keausan dari material

tersebut. Material karet akan berubah elastisitasnya sehingga akan menurunkan nilai dari *yield strength* maupun *tensile strength*. Penurunan tersebut akan berdampak pada laju keausan yang akan semakin naik.

Mekanisme keausan yang terjadi pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4. 3 Foto Mikro *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* Perbesaran 100 X : (a) Tanpa penyinaran matahari, (b) 100 jam penyinaran matahari, (c) 200 jam penyinaran matahari

Gambar 4.3 di atas merupakan hasil foto mikro yang dilakukan dengan perbesaran 100 X pada material yang telah dilakukan pengujian dengan 3 variasi penyinaran. Pada gambar 4.3(a) terlihat bahwa ada permukaan yang terkikis, dapat dilihat dari guratan-guratan lurus yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna merah yang mengindikasikan adanya keausan yang bersifat abrasif meskipun hanya sedikit. Pada gambar 4.3(b) dan gambar 4.3(c) mekanisme keausan abrasif nampak lebih jelas dengan adanya guratan garis lurus yang lebih banyak yang menunjukkan bahwa keausan yang terjadi lebih besar. Guratan garis lurus yang timbul pada permukaan material diakibatkan oleh adanya *wear debris* yang berfungsi sebagai bahan *abrasive*. Dari ketiga hasil foto mikro tersebut dapat diketahui bahwa keausan yang terjadi pada material *ethylene propylene diene monomers (EPDM)* didominasi oleh keausan yang bersifat abrasif. Tanda panah kuning menunjukkan bahwa gesekan pada pengujian mengakibatkan terjadinya *pitting* antara material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dengan kaca sehingga material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terkelupas dan menempel pada spesimen uji.

## 4.2 Material Nitrile Rubber (NBR)

### 4.2.1 Perhitungan Material Nitrile Rubber (NBR)

Hasil dari pengujian laju keausan pada material *Nitrile Rubber (NBR)* yang bergesekan dengan kaca bisa dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4. 4 Perhitungan material *specific wear rate* pada *Nitrile Rubber (NBR)* tanpa penyinaran matahari

Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	$\Delta V$ ( $\text{cm}^3$ )	$\Delta V$ ( $\text{mm}^3$ )	s (m)	F (N)	K ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )
1	0,0041	1,15	0,001826087	1,82608695	1000	14,715	0,000124097
2	0,0046	1,15	0,002173913	2,17391304	1000	14,715	0,000147734
3	0,0037	1,15	0,002	2	1000	14,715	0,000135916

Tabel 4. 5 Perhitungan material *specific wear rate* pada *Nitrile Rubber (NBR)* dengan penyinaran 100 jam

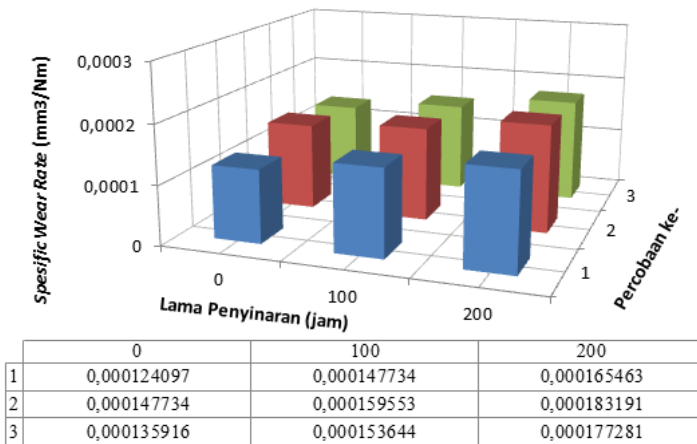
Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	s (m)	F (N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	0,0042	1,15	0,002173913	2,17391304	1000	14,715	0,000147734
2	0,0049	1,15	0,002347826	2,34782608	1000	14,715	0,000159553
3	0,0047	1,15	0,00226087	2,26086956	1000	14,715	0,000153644

Tabel 4. 6 Perhitungan material *specific wear rate* pada *Nitrile Rubber (NBR)* dengan penyinaran 200 jam

Spesimen	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	s (m)	F (N)	K (mm <sup>3</sup> /Nm)
1	0,0046	1,15	0,002434783	2,43478260	1000	14,715	0,000165463
2	0,005	1,15	0,002695652	2,69565217	1000	14,715	0,000183191
3	0,0057	1,15	0,002608696	2,60869565	1000	14,715	0,000177281

#### 4.2.2 Analisa Laju Keausan Pada Material *Nitrile Rubber (NBR)*

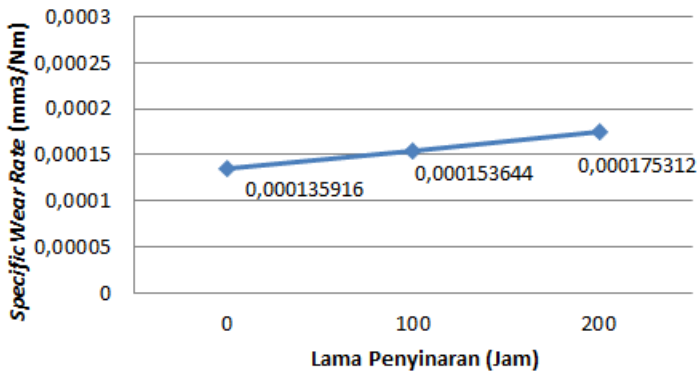
Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besarnya *specific wear rate* untuk material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik *Specific Wear Rate* terhadap Lama Penyinaran Matahari pada material *Nitrile Rubber (NBR)*

Dari gambar 4.4 di atas dapat dilihat bahwa pada material *nitrile rubber (NBR)* dilakukan 3 kali percobaan untuk setiap variasi penyinaran dengan menghasilkan nilai *specific wear rate* yang tidak terlalu berbeda jauh. Pada material *nitrile rubber (NBR)* yang tidak diberi sinar matahari pada percobaan pertama didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,000124097 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , pada percobaan kedua sebesar  $0,000147734 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , dan pada percobaan ketiga sebesar  $0,000135916 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Pada pengujian dengan material yang sama dengan lama penyinaran matahari 100 jam didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,000147734 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan pertama,  $0,000159553 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan kedua, dan  $0,000153644 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan ketiga. Pada percobaan dengan material yang sudah disinari matahari selama 200 jam didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar  $0,000165463 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan pertama,  $0,000183191 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada percobaan kedua, serta  $0,000177281 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Nilai *specific wear rate* terlihat cenderung semakin naik seiring semakin lamanya material disinari matahari dimana nilai *specific wear rate* tertinggi dihasilkan dari material yang telah disinari matahari selama 200 jam.

Secara matematis, dapat dijelaskan bahwa besarnya nilai dari *specific wear rate* berbanding lurus dengan volume material *nitrile rubber (NBR)* yang terkikis dan berbanding terbalik dengan beban yang diberikan serta panjang lintasan yang diberikan. Jadi, nilai dari *specific wear rate* akan naik apabila volume material yang terkikis semakin besar. Pada data percobaan ini, volume material *nitrile rubber (NBR)* yang terkikis (terbuang) akibat gesekan semakin meningkat dengan semakin lamanya material disinari matahari seperti terlihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.

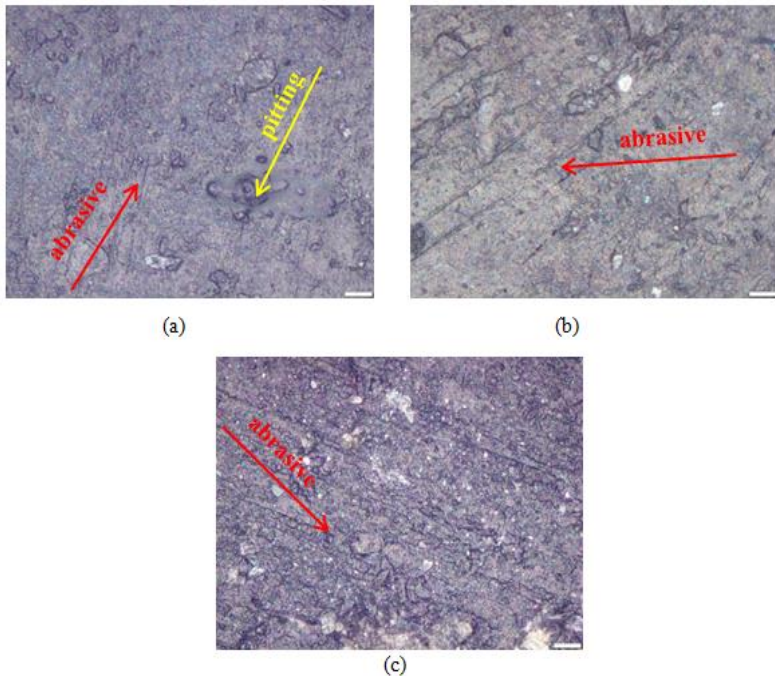


Gambar 4. 5 Grafik *Specific Wear Rate* Rata-rata terhadap Lama Penyinaran Matahari pada Material *Nitrile Rubber (NBR)*

Pada grafik di atas, terlihat tren grafik yang cenderung semakin naik seiring bertambah lama penyinaran matahari. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai *specific wear rate* akan semakin naik dengan semakin lamanya material *Nitrile Rubber (NBR)* terkena sinar matahari. Volume material *Nitrile Rubber (NBR)* yang terauskan nilainya tidak terlalu signifikan perubahannya. Pada material *Nitrile Rubber (NBR)* yang tidak disinari matahari, volume yang terauskan nilainya paling kecil daripada material yang disinari matahari. Sedangkan pada material yang telah disinari matahari selama 200 jam, volume yang terauskan mempunyai nilai paling besar daripada pada material yang tidak disinari matahari dan material yang telah disinari matahari selama 100 jam. Peningkatan volume aus yang terjadi disebabkan karena adanya material debris yang berperan sebagai abrasive yang menambah kekasaran permukaan. Semakin lama bahan karet terkena sinar matahari akan menyebabkan material karet akan semakin keras dan semakin getas sehingga mudah untuk terkikis/terkelupas dan meningkatkan jumlah material debris yang turut menambah keausan dari material tersebut. Material karet akan berubah elastisitasnya sehingga akan

menurunkan nilai dari *yield strength* maupun *tensile strength*. Penurunan tersebut akan berdampak pada laju keausan yang akan semakin naik.

Mekanisme keausan yang terjadi pada material *nitrile rubber (NBR)* dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut ini:



Gambar 4. 6 Foto Mikro *Nitrile Rubber (NBR)*: (a). Tanpa penyinaran matahari, (b) 100 jam penyinaran matahari, (c) 200 jam penyinaran matahari

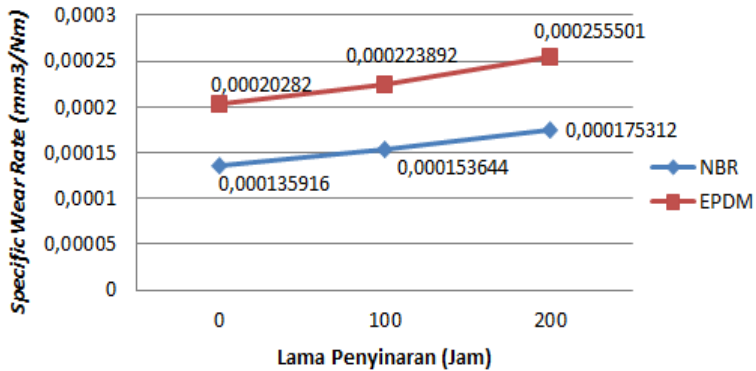
Gambar 4.6 di atas merupakan hasil foto mikro yang dilakukan dengan perbesaran 100 X pada material yang telah dilakukan pengujian dengan 3 variasi penyinaran. Pada gambar 4.6(a) terlihat bahwa ada permukaan yang terkikis, dapat dilihat



dari guratan-guratan lurus yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna merah yang mengindikasikan adanya keausan yang bersifat abrasif meskipun hanya sedikit. Tanda panah kuning menunjukkan bahwa gesekan pada pengujian mengakibatkan terjadinya *pitting* antara material *Nitrile Rubber (NBR)* dengan kaca sehingga material *Nitrile Rubber (NBR)* terkelupas dan menempel pada spesimen uji. Pada gambar 4.6(b) dan gambar 4.6(c) mekanisme keausan abrasif nampak lebih jelas dengan adanya guratan garis lurus yang lebih banyak yang menunjukkan bahwa keausan yang terjadi lebih besar. Guratan garis lurus yang timbul pada permukaan material diakibatkan oleh adanya *wear debris* yang berfungsi sebagai bahan *abrasive*. Dari ketiga hasil foto mikro tersebut dapat diketahui bahwa keausan yang terjadi pada material *Nitrile Rubber (NBR)* didominasi oleh keausan yang bersifat abrasif.

### **4.3. Perbandingan Keausan Nitrile Rubber (NBR) dan Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)**

Pada pengujian keausan yang dilakukan pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan material *Nitrile Rubber (NBR)* dapat diketahui bahwa pada kedua material akan mengalami keausan yang semakin besar seiring dengan semakin lamanya penyinaran matahari. Kedua material pastinya memiliki *properties* yang berbeda satu sama lain. Material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* mempunyai *density* sebesar 0,860 g/cc serta *tensile strength* sebesar 17,0 MPa sedangkan material *Nitrile Rubber (NBR)* mempunyai *density* sebesar 1,15 g/cc serta *tensile strength* sebesar 24,1 MPa. Perbedaan *material properties* tersebut akan menyebabkan kedua material akan mengalami keausan yang berbeda. Perbandingan *specific wear rate* yang didapatkan dari pengujian keausan material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan *Nitrile Rubber (NBR)* dapat dilihat seperti Gambar 4.7 berikut



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan *Specific Wear Rate* Material *Ethylene Propylene Diene Monomers* dan *Nitrile Rubber*

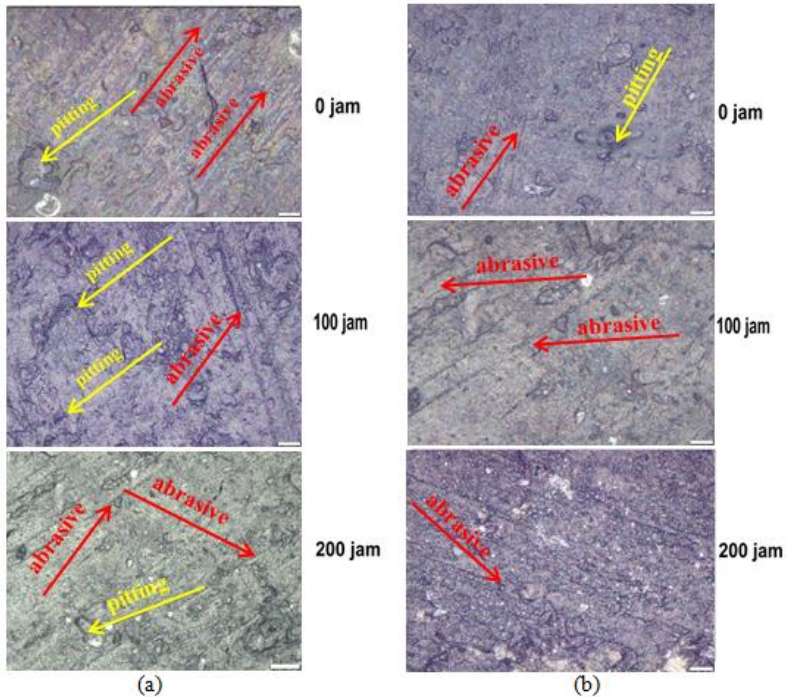
Pada gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa pada kedua material memiliki tren grafik yang sama dimana semakin lama penyinaran matahari, nilai *specific wear rate* akan semakin naik juga akan tetapi tren grafik material *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) berada di atas tren grafik material *Nitrile Rubber* (NBR). Besarnya kenaikan nilai *specific wear rate* pada kedua material tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4. 7 Nilai Kenaikan *Specific Wear Rate* pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) dan *Nitrile Rubber* (NBR)

Material	Penyinaran (jam)	Specific Wear Rate K (mm <sup>3</sup> /Nm)	Δ K (mm <sup>3</sup> /Nm)	Presentase (%)
EPDM	0	0,00020282	0	0
	100	0,000223892	1,77281E-05	10,38961039
	200	0,000255501	2,16677E-05	14,11764706
NBR	0	0,000135916	0	0
	100	0,000153644	2,10722E-05	13,04347826
	200	0,000175312	3,16083E-05	14,1025641

Pada Tabel 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* nilai *specific wear rate* naik seiring semakin lamanya penyinaran matahari. Efek dari penyinaran matahari selama 100 jam pada material ini akan meningkatkan nilai *specific wear rate* rata-rata sebesar 10,389 %. Apabila disinari lebih lama yaitu dengan penyinaran 200 jam, nilai *specific wear rate* akan meningkat sebesar 14,117 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa penyinaran matahari yang diberikan pada material *rubber* cukup besar pengaruhnya terhadap keausan yang terjadi. Sedangkan pada material *Nitrile Rubber (NBR)*, penyinaran matahari meningkatkan nilai *specific wear rate* sebesar 13,043 %. Nilai tersebut lebih besar daripada yang terjadi pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*. Sedangkan pada penyinaran 200 jam, besar kenaikan *specific wear rate* adalah 14,102 % dimana nilai tersebut sedikit lebih kecil dibandingkan yang terjadi pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*. Dari Gambar 4.7 dan Tabel 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* memiliki ketahanan terhadap pancaran sinar matahari yang lebih baik daripada material *Nitrile Rubber (NBR)*, tetapi mempunyai ketahanan aus yang lebih rendah daripada material *Nitrile Rubber (NBR)*. Volume dari material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* yang terauskan pada material yang tidak terkena matahari rata-rata sebesar  $2,00 \text{ mm}^3$ , untuk material yang telah disinari matahari selama 100 jam rata-rata sebesar  $2,260869565 \text{ mm}^3$ , dan pada material yang telah disinari matahari selama 200 jam besarnya  $2,579710145 \text{ mm}^3$ . Sedangkan volume material *Nitrile Rubber (NBR)* yang terauskan pada material yang tidak terkena matahari rata-rata sebesar  $2,984496124 \text{ mm}^3$ , untuk material yang telah disinari matahari selama 100 jam rata-rata sebesar  $3,294573643 \text{ mm}^3$ , dan pada material yang telah disinari matahari selama 200 jam besarnya  $3,759689922 \text{ mm}^3$ . Dari hasil tersebut didapatkan perbedaan volume aus yang cukup besar sehingga dapat diketahui bahwa

material *Nitrile Rubber (NBR)* mempunyai ketahanan aus yang lebih baik.



Gambar 4. 8 Perbandingan Foto Mikro Material : (a) *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*, (b) *Nitrile Rubber (NBR)*

Gambar 4.8 di atas merupakan gambar perbandingan foto mikro yang didapatkan setelah dilakukan pengujian pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan material *Nitrile Rubber (NBR)*. Pada material yang tidak disinari matahari dapat diketahui bahwa pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terdapat keausan abrasif yang lebih banyak yang terlihat dengan banyaknya guratan garis lurus yang lebih banyak daripada yang terjadi pada material *Nitrile Rubber (NBR)*. Pada kedua material juga terdapat beberapa pitting yang

jumlahnya tidak terlalu banyak. Pada foto mikro material yang disinari matahari selama 100 jam terlihat bahwa pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terdapat banyak pitting dan keausan abrasive yang tidak terlalu banyak sedangkan pada material *Nitrile Rubber (NBR)* lebih didominasi oleh keausan yang bersifat abrasive terlihat dari adanya guratan garis lurus yang lebih banyak. Sedangkan pada material yang disinari matahari selama 200 jam terlihat pada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* maupun material *Nitrile Rubber (NBR)* sama-sama didominasi oleh keausan abrasive dimana terdapat guratan garis lurus yang lebih banyak daripada pada material yang tidak disinari matahari dan material yang disinari matahari selama 100 jam.

#### 4.4 Perhitungan Umur Hidup Material

Perhitungan umur hidup material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan *Nitrile Rubber (NBR)* dilakukan dengan menggunakan data *specific wear rate* pada material yang telah dilakukan pengujian laju keausan. Hasil dari perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 8 Perhitungan Umur Hidup Material

	Penyinaran (jam)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	K (mm <sup>3</sup> /Nm)	W (N)	L (m)	v (m/s)	t (s)	t (jam)	t (tahun)
EPDM	0	9429,658	0,00020282	14,71	3160621,8	0,1312	24090105	6691,69605	3,7
	100	9429,658	0,00022389	14,71	2863151,5	0,1312	21822801	6061,88936	3,3
	200	9429,658	0,00025550	14,71	2508947,2	0,1312	19123073	5311,96490	2,9
NBR	0	9429,658	0,00013591	14,71	4716431,8	0,1312	35948413	9985,67046	5,5
	100	9429,658	0,00015364	14,71	4172228,1	0,1312	31800519	8833,47771	4,8
	200	9429,658	0,00017531	14,71	3656559,5	0,1312	27870118	7741,69957	4,2

Dari tabel 4.8 diatas dapat kita ketahui bahwa umur hidup (*life time*) material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terbaik berada pada sekitaran 3,7 tahunan. Nilai tersebut lebih

kecil daripada umur hidup (*life time*) material *Nitrile Rubber (NBR)* terbaik yang nilainya sekitar 5,5 tahunan. Nilai umur hidup (*life time*) terbaik didapatkan dengan melakukan perhitungan pada material yang tidak disinari matahari. Lama umur hidup (*life time*) kedua material didapatkan dengan mengasumsikan bahwa penggunaan *wiper* rata-rata 5 jam setiap hari. Jika dibandingkan, umur hidup (*life time*) material *Nitrile Rubber (NBR)* lebih lama sekitar 1,5 kali daripada umur hidup (*life time*) *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)*. Dari data Tabel 4.8 di atas, dapat diketahui bahwa umur hidup (*life time*) material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* dan material *Nitrile Rubber (NBR)* akan semakin menurun seiring dengan semakin lamanya material terkena sinar matahari. Umur hidup yang didapatkan dari hasil pengujian ini nilainya lebih kecil daripada umur hidup dari material pada keadaan yang sesungguhnya. Hal ini dikarenakan pada pengujian ini dilakukan pada keadaan kering, sedangkan pada kondisi yang sebenarnya *wiper* bekerja pada kondisi hujan atau dalam kondisi basah sehingga keausan yang terjadi pada pengujian ini akan lebih besar.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan :

1. Semakin lama material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* terkena sinar matahari akan menyebabkan material semakin keras dan getas sehingga akan menurunkan elastisitasnya sehingga mengakibatkan *specific wear rate* semakin naik dengan besar nilai *specific wear rate* rata-rata sebesar  $0,00020282 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang tidak disinari matahari,  $0,000223892 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang disinari matahari selama 100 jam, dan  $0,000255501 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang disinari matahari selama 200 jam.
2. Semakin lama material *Nitrile Rubber (NBR)* terkena sinar matahari akan menyebabkan material semakin keras dan getas sehingga akan menurunkan elastisitasnya sehingga mengakibatkan *specific wear rate* semakin naik dengan nilai *specific wear rate* rata-rata sebesar  $0,000135916 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang tidak disinari matahari,  $0,000153644 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang disinari matahari selama 100 jam, dan  $0,000175312 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada material yang disinari matahari selama 200 jam.
3. Umur hidup (*life time*) terbaik dari material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* adalah sekitar 3,7 tahun dan umur hidup (*life time*) terbaik untuk material *Nitrile Rubber (NBR)* adalah sekitar 5,5 tahun dimana umur hidup (*life time*) yang diperoleh dari penelitian ini lebih singkat daripada pada kondisi sesungguhnya karena pada penelitian ini pengujian dilakukan pada kondisi terburuk yaitu pada kondisi kering sedangkan pada kondisi sesungguhnya *wiper* bekerja pada kondisi basah.

4. Material *Nitrile Rubber (NBR)* memiliki ketahanan terhadap aus yang lebih baik serta mempunyai umur hidup 1,5 kali lebih lama daripada material *Ethylene Propylene Diene Monomers (EPDM)* sehingga material *Nitrile Rubber (NBR)* dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti.

## 5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer dengan gesekan searah, sehingga masih bisa dikembangkan penelitian dengan arah gerak bolak-balik.
2. Foto mikro untuk mengetahui kontur permukaan gesekan dapat dimaksimalkan dengan melakukan uji *Scanning Electron Michroscopy (SEM)*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bhusan, Bharat. 1999. *Principles and Applications of Tribology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Hakami, F., Pramanik, A., Ridgway, N., and Basak, A. K., 2017. "Developments of Rubber Material Wear in Conveyor Belt System". *Journal at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Tribology International* Volume 111,
- Koenen, A. and Sanon, A., 2007. "Tribological and Vibroacoustic Behavior of a Contact Between Rubber and Glass (Application to Wiper Blade)". *Journal at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Tribology International* 40 pp 1484-1491.
- Kato, Koji. 2001. *Modern Tribology Handbook : Ch. 7 Wear Mechanism*. CRC Press, LLC.
- Ludema, K. C. 2001. *Friction, Wear, Lubrication : A Textbook in Tribology*. CRC Press, Inc.
- Prayogi, Tegar. 2010. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer*. Surabaya
- Tan, A. S., Lim, C. L., and Chan, B. L., 1997. "Effect on the Dynamics Properties of Rubber Exposed to Sunlight". *Journal of the Rubber Research Institute of Malaysia*, 25(3), 127-134.
- Toyota. 1996. *New Step II Training Manual*. Jakarta : Penerbit Training Center Toyota Astra Motor.
- Uygunoğlu, T., Brostow, W., and Gunes, I., 2015. "Wear and Friction of Composites of An Epoxy with Boron Containing Wastes". *Journal of Polímeros*, 25(3), 271-276.  
[www.matweb.com](http://www.matweb.com)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah, pada 27 September 1994. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan suami istri, Muh Akhyar dan Sulasmi alm. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Nurul Islam Kawedusan pada tahun 2000. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SDN Kawedusan hingga lulus tahun 2007. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SMP VIP Al Huda dan MTs N Kebumen 1 hingga lulus tahun 2011.

Dan berlanjut pada SMAN 1 Kebumen. Setelah lulus dari SMAN 1 Kebumen penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata-1 dan diterima di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 02111440000087. Di Departemen Teknik Mesin penulis menjadi anggota di Laboratorium Mekanika Benda Padat. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan akademis maupun non-akademis. Dalam bidang non akademis penulis pernah menjadi staff FSLDJ JMMI ITS. Dalam bidang akademis penulis pernah menjadi asisten praktikum Mekanika Fluida. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa S1 Teknik mesin FTI-ITS khususnya serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya.